

# Neurologische und funktionelle Erholung nach Querschnittlähmung

## Verlaufs- und Beurteilungsstandards in der Paraplegiologie

**Seit dem Zweiten Weltkrieg zeigen sich Veränderungen in der Epidemiologie der Querschnittlähmung in westlichen Ländern. Bei im Wesentlichen unverändertem jungen Durchschnittsalter der Patienten ist sowohl durch die Verbesserung der Rettungskette (Bergung und Rettung) mit deutlich verkürzter Transportzeit in ein Erstversorgungszentrum als auch durch Ausbau der passiven Unfallverhütungsmassnahmen (Unfallverhütung Berufsgenossenschaften) die Anzahl der inkompletten Querschnittlähmungen angestiegen. Bei Reduktion der Berufsunfälle ist jedoch die Inzidenz der Freizeit- und Sportunfälle ansteigend und in den entwickelten westlichen Ländern wird derzeit eine Inzidenz einer traumatischen Querschnittlähmung von 15–30/Mio. Einwohnern angegeben, die in den unterentwickelten Ländern deutlich höher ausfällt [2, 18, 23, 24, 28, 37].**

### Erholungsmechanismen

Die klinische Erholung nach Querschnittlähmung ist ein multidimensionaler Prozess. Effekte der *Kompensation* von Funktionen, d. h. funktionelle Erholung bedingt durch Training und Verbesserung der verbliebenen Restfunktionen (klassisches Aufbautraining vorhandener sensorischer Funktionen mit Ausbildung optimierter Synergien, z. B. Muskelaufbau

und Anwendung einer Orthese), müssen von eigentlichen Veränderungen der Nervenfunktionen unterschieden werden.

Unter den Nervenfunktionsänderungen werden *Reorganisationsphänomene*, d. h. bestehende Nervenzentren auf Höhe des Rückenmark und/oder des Gehirns übernehmen Funktionen, und *Regenerationsphänomene*, d. h. verletzte Nervenfasern heilen aus und nehmen wieder Verbindung mit den ursprünglichen Zielorganen auf, unterschieden. Diese unterschiedlichen Ansätze werden derzeit intensiv in Tiermodellen erarbeitet und führen möglicherweise zu neuen Behandlungsmöglichkeiten, die berechtigte Hoffnung erlauben, diese in gegebener Zeit auf den Menschen übertragen zu können [36].

In größeren Studien über die Erholung nach Querschnittlähmung zeigen ca. 37% der Patienten überhaupt keine Steh- und Gehfähigkeit, ca. 24% eine eingeschränkte Steh- und Gehfähigkeit, wobei sie jedoch regelmäßig vom Rollstuhl Gebrauch machen, und 39% der Patienten erreichten eine ausreichende Steh- und Gehfähigkeit für den Alltag [5]. Basierend auf dieser epidemiologischen Entwicklung und den neuen Ausichten der neurobiologischen Forschung gewinnt die Erfassung neurologischer und funktioneller Ausfälle und deren Erholung eine entscheidende Bedeutung [3].

### Behandlungsstrategien

Die meisten bisher durchgeführten therapeutischen Behandlungsstrategien versu-

chen mittels gezielter Trainingsmethoden die Kompensationskapazität des Patienten zu verbessern oder die neuronale Plastizität der verbliebenen spinalen neuronalen Zentren optimal auszunutzen, wie z. B. im Lokomotionstraining [12, 13, 14]. In den neuen neurobiologisch begründeten Therapieansätzen versucht man jedoch, einen Schritt weiter zu kommen und Reparaturmöglichkeiten und Regenerationsmöglichkeiten der verletzten Nerven zu verbessern oder erst zu ermöglichen [4, 14, 36].

Die bisher erreichten Behandlungserfolge in Tierversuchen sollen möglichst auf den Menschen übertragen werden und die Erholungsmöglichkeiten nach Querschnittlähmung wesentlich verbessern können [40]. Um die neu entwickelten Behandlungsansätze und gewonnenen Erfahrungen vom Tier auf den Menschen übertragen zu können, müssen jedoch die Grundlagenwissenschaftler (z. B. Neurobiologen) und Kliniker, d. h. die Mediziner, die auch die Behandlungen bei querschnittgelähmten Patienten durchführen, gemeinsame klinische Behandlungs- und Beurteilungsstrategien entwickeln. Dies ist umso wesentlicher, als damit zum einen die positiven Entwicklungen, aber auch mögliche schädliche Nebenwirkungen erkannt und in ihrer Bedeutung richtig erfasst werden.

Darüber hinaus ist bei der Fülle der möglichen neuen Behandlungsansätze ein koordiniertes und routiniertes Vorgehen zum Schutze des Patienten unabdingbar.

Um die notwendigen klinischen Voraussetzungen zur Verfügung zu stellen,

Hier steht eine Anzeige  
This is an advertisement

müssen Verlaufs- und Beurteilungsstandards erarbeitet werden, die in der Lage sind, zwischen den funktionellen und strukturellen Veränderungen im Verlauf einer Rehabilitation unterscheiden zu können. Diese Standards können dann nicht nur zur Verlaufsbeurteilung und Bewertung einer neuen Therapie eingesetzt werden, sondern können auch neue Prognosestandards ergeben. Diese können dann zur Planung und Zielsetzung einer Rehabilitation eingesetzt werden.

### Neue neurobiologische Behandlungsansätze

Die hier vorgestellten neurobiologischen Behandlungsansätze umfassen nur einen Teil der derzeit durchgeführten Untersuchungen (keine Angaben zu den zahlreichen möglichen Maßnahmen der Neuroprotektion) und sollen nur einen prinzipiellen Einblick gewähren. Sie geben keinen umfassenden Überblick aller möglichen Ansätze, da diese in ständiger Entwicklung sind und in ihrer Gesamtheit kaum mehr ganz überschaubar sind.

### Neuronale Plastizität

Die funktionelle Erholung nach Verletzungen des zentralen Nervensystem (ZNS) beinhaltet Prozesse der Plastizität von Nervenzentren. [30]. Sowohl Nervenzentren im Gehirn als auch im Rückenmark können zum Teil Funktionen übernehmen, die an sich von benachbarten oder assoziierten Nervenzentren durchgeführt werden. Behandlungsversuche an Mensch und Tier zeigen, dass die neuronale Plastizität bei der Erholung von funktioneller Bedeutung ist.

Physio- oder ergotherapeutische Behandlungsansätze, die aufgabenspezifisch orientiert sind (es werden die funktionellen Bewegung repetitiv geübt, die als Behandlungsziel angestrebt werden), sind einem reinen motorischen Aufbautraining (Kräftigungsübungen ohne alltagsverbundene funktionelle Aufgabenstellung) deutlich überlegen. Diese aufgabenspezifischen Trainingsansätze, wie z. B. Lokomotionstraining bei Tieren, sind besonders geeignet, komplexe Bewegungsmuster wie das Laufen zu verbessern, da hier komplexe neuronale Aktivitäten sowohl vom

Rückenmark als auch Gehirn kombiniert eingesetzt werden müssen [14, 16].

Da man derzeit davon ausgehen muss, dass auch die neuen Regenerationsmethoden nicht zu einer vollständigen Regeneration der verletzten Nervenfasern im Rückenmark führen werden, sind die Ansätze zur Förderung der neuronalen Plastizität des ZNS auch in der Zukunft wesentlich. Sollte jedoch eine Regeneration auch „nur“ zum Teil möglich sein, so könnte diese vielleicht in der Anzahl geringe morphologische Nervenverbesserungen von funktionell deutlich größerer Bedeutung sein. Sie könnte bei optimalen Voraussetzungen, wie z. B. funktionellem Training, gerade ausreichen, um komplexe Funktionen zu ermöglichen [30, 35, 36].

Die neuronale Plastizität ist kontextabhängig, d. h. diese neuronalen Aktivitäten müssen zielgerichtet trainiert werden, um die Plastizität optimal zu fördern [16, 30]. Unter diesen Bedingungen können dann auch reduzierte bzw. gestörte neuronale Impulse zu einer funktionell dennoch einsetzbaren Funktion führen. Diese Funktionen können dann schließlich noch durch die Gabe geeigneter Medikamente, wie neuronale Hormone, unterstützt werden [16].

### Neuronale Regeneration

Unter der neuronalen Regeneration werden Therapien subsumiert, die zu einem Auswachsen von verletzten und untergegangenen Nerven führt und es ermöglicht, dass untergegangene Nervenverbindungen wiederhergestellt werden können. Vor allem in Tierversuchen mit Ratten konnte gezeigt werden, dass solche Regenerationsvorgänge auch im Rückenmark erzielt werden können [4, 6, 17, 35]. Es konnte gezeigt werden, dass diese Tiermodelle durchaus auf den Menschen übertragen werden können. So finden sich bei Tier und Menschen bei Rückenmarkverletzungen sehr ähnliche Befunde bei den neurophysiologischen Untersuchungen und neuroradiologischen Veränderungen des Rückenmarks selbst, die in MRI Untersuchungen nachweisbar sind [27]. Somit scheint es durchaus möglich, in den nächsten Jahren solche tierexperimentellen Behandlungsmethoden auf den Menschen zu übertragen.

Unter den erfolgversprechenden Behandlungsmöglichkeiten finden sich An-

wendungen wie die Applikation von neuronalen Wachstumsfaktoren, die Implantation von Schwann-Zellen oder Markscheidenfasern der Riechnerven („olfactory ensheathing cells“) oder von pluripotenten neuronalen Stammzellen („stem cells“; [20, 34]). Darüber hinaus können Substanzen zur Anwendung kommen, die eine Neutralisation von Hemmstoffen der Nervenregeneration ermöglichen („neutralisation of myelin-associated factors that inhibit axonal out-growth“; [4, 27, 34, 35, 36, 40]). Manche dieser Behandlungen scheinen zudem in der Lage, neben Regenerationsprozessen auch das Ausmaß der neuronalen Plastizität mit verbessern zu können [34, 41].

In einigen tierexperimentellen Studien konnten Hinweise gewonnen werden, dass auch die Transplantation von fetalen Stammzellen zu einer funktionellen Verbesserung beitragen können [19, 38]. Hierbei ist ein möglicher Ansatzpunkt, dass die transplantierten Zellen Neurohormone (z. B. 5-HT oder Dopamin) produzieren können, die zu einer gesteigerten tonischen Aktivierung von neuronalen Zentren führen [31]. Somit zeigt sich, dass auch das mögliche Repertoire von Behandlungsansätzen der Regenerationsforschung sehr vielfältig ist.

### Untersuchungsstandards

Um die vielfältigen möglichen positiven wie negative Effekte solcher neuen Therapieansätze und deren Einwirkung auf die neuronalen Strukturen und den funktionellen Erholungen zu erfassen, müssen die klinischen Untersuchungsstandards entsprechend angepasst werden.

### Klinische Verlaufs- und Funktionsuntersuchungen

#### Untersuchungsprotokoll

Die neurologischen sensomotorischen Defizite werden in den letzten Jahren (auch zunehmend im deutschsprachigen Raum) entsprechend dem Untersuchungsprotokoll der American Spinal Injury Association (ASIA) erfasst (■ Abb. 1; [26]). Diese Untersuchungen erlauben eine semiquantitative Erfassung der motorischen und sensiblen Ausfälle, die anhand von Punktwerten statistisch ausgewertet werden kön-

nen. Dabei wird das neurologische Niveau für motorische und sensible Ausfälle seitengetrent angegeben.

Die Beurteilung, ob eine komplette oder inkomplette Querschnittlähmung vorliegt, erfolgt anhand der Beurteilung der sakralen Segmente. Wenn in den Segmenten S3–S5 eine sensible oder motorische Funktion auch nur zum Teil erhalten ist, liegt eine inkomplette Querschnittlähmung vor. Die ASIA-Untersuchung beschreibt die neurologischen Ausfälle, wohingegen die funktionellen Konsequenzen, die durch diese neurologischen Defizite bedingt sind, an sich nicht erfasst werden. Somit (entsprechend der ICF-Klassifikation; s. Homepage WHO <http://www3.who.int/icf>) wird das neurologisch-strukturelle Defizit beschrieben.

### Quantitative Funktionsprüfung

Die funktionellen Ausfälle bzw. Einschränkungen werden anhand von funktionellen Tests beschrieben. Hierfür werden gezielt Funktionsprüfungen entsprechend den Alltagsbedingungen angewendet, die die Steh- und Gehfähigkeit, Handfunktion oder Blasenkontrolle erfassen [1, 16, 32, 42, 43].

Diese funktionellen Untersuchungen können die spezifisch untersuchten Fähigkeiten zu Beginn der Rehabilitation und in deren weiterem Verlauf quantitativ angeben. Somit kann die Bedeutung und Qualität bestimmter therapeutischer Maßnahmen kontrolliert und verglichen werden. So können durch die Erfassung unterschiedlicher Parameter für die Gehfunktion sowohl die bisher konservativ durchgeführten Übungsbehandlungen oder neuere Behandlungsansätze, z. B. Lokomat-Training, erfasst und deren Effizienz in der Therapie evaluiert werden [3, 12, 13].

**WISCI-Test.** Diese Tests umfassen den Walking Index for Spinal Cord Injury (WISCI), der angibt welche Hilfestellungen durch dritte Personen oder Hilfsmittel der Patient benötigt [15]. Der Test besitzt eine hohe Validität und Reliabilität und eignet sich besonders zur Beschreibung der Gehfähigkeit, die in 20 Stufen unterteilt ist. Da der WISCI-Test jedoch nicht die Leistungsfähigkeit des Gehens beurteilt,

## Zusammenfassung · Abstract

Orthopäde 2005 · 34:106–112  
DOI 10.1007/s00132-004-0751-z  
© Springer Medizin Verlag 2005

A. Curt

### Neurologische und funktionelle Erholung nach Querschnittlähmung. Verlaufs- und Beurteilungsstandards in der Paraplegiologie

#### Zusammenfassung

Fortschritte experimenteller neurobiologischer Behandlungen – erzielt an Tiermodellen – eröffnen in den nächsten Jahren mögliche neue Therapieansätze in der Behandlung von Patienten mit Querschnittlähmung. Hierbei werden sowohl Strategien zur Reparation verletzter neuronaler Strukturen als auch Regenerationsmechanismen als Behandlungsziele unterschieden. Um die möglichen therapeutischen Effekte klinisch zu erfassen und in ihrer Wirkung zu beurteilen, müssen die klinischen Untersuchungsstandards angepasst werden. Die klinischen Verlaufsuntersuchungen und die Differenzierung der neurologischen

und funktionellen Defizite bei Querschnittlähmung sollen einerseits die therapeutische Wirksamkeit (Qualität und Quantität der Verbesserungen) als auch mögliche unerwünschte Effekte (Nebenwirkungen systemisch oder fokale neurologisch) erfassen. In der vorliegenden Arbeit werden Ansätze zu diesen klinischen Untersuchungsstandards dargestellt.

#### Schlüsselwörter

Querschnittlähmung · Dokumentation · Therapie · Prognose · Klinische Untersuchungsstandards

### Neurological and functional assessment of recovery from spinal cord injury

#### Abstract

Today, there is accumulating evidence from animal experiments that axonal regeneration and an enhanced level of functional repair can be induced after a spinal cord injury (SCI). Consequently, in the near future, new therapeutic approaches will be developed for the treatment of patients with SCI. The aim of the project presented here is to provide the required clinical basis for the implementation of novel interventional therapies. Refined and combined clinical and neurophysiological measures are needed for a precise qualitative and quan-

titative assessment of spinal cord function in patients with SCI at an early stage. This represents a basic requirement for recognizing any improvement in the recovery of function and to monitor any significant effect of a new treatment. The paper presents objective and refined tools as a basis for monitoring the effects of new treatment strategies.

#### Keywords

Spinal cord injury · Scores · Documentation · Therapy · Prognosis

## NEUROLOGISCHE STANDARDKLASSIFIKATION BEI QUERSCHNITSLAHMUNG

Motorik		Berührung Nadelstich		Sensibilität	
R	L	R	L	R	L
C2					
C3					
C4					
C5					
C6					
C7					
C8					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
T7					
T8					
T9					
T10					
T11					
T12					
L1					
L2					
L3					
L4					
L5					
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					

**Motorik**  
 C5: Ellbogenbeuger  
 C6: Handgelenksstrecker  
 C7: Ellbogenstrecker  
 C8: Fingerbeuger (distale Phalanx des Mittelfingers)  
 T1: Fingerabspreizer  
 L2: Kniebeuger  
 L3: Kniestrecker  
 L4: Fußheber  
 L5: Großzehstrecker  
 S1: Fußsenker

**Sensibilität**  
 Sensible Kennzonen  
 0 = fehlend  
 1 = eingeschränkt  
 2 = normal  
 NT = nicht prüfbar

**Legende:**  
 0 = komplette Lähmung  
 1 = testbare oder sichtbare Kontraktion  
 2 = aktive Bewegung  
 3 = aktive Bewegung gegen Schwerkraft  
 4 = aktive Bewegung gegen geringen Widerstand  
 5 = aktive Bewegung gegen vollen Widerstand  
 NT = nicht prüfbar

**GESAMT**  
 (MAXIMUM) (50) (50) (100)  
☐ = Willkürliche Analsphinkterkontraktion (Ja/Nein)  
**MOTORIK - SCORE**

**GESAMT**  
 (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)  
☐ = Perianale Empfindung (Ja/Nein)  
**NADELSTICH - SCORE (max 112)**  
**BERÜHRUNGS - SCORE (max 112)**

**NEUROLOGISCHE HÖHEN**  
 (Das kaudale Segment mit normaler Funktion)

**KOMPLETT ODER INKOMPLETT?**  
 Inkomplett = Vorliegen irgendeiner sensiblen oder motorischen Funktion in diesem sakralen Segment

**ZONE PARTIELLEN FUNKTIONSERHALTS**  
 Partiel inkomplette Segmente

**SENSIBILITÄT**  
**MOTORIK**

Dieses Schema kann jederzeit zur freien Verfügung benutzt werden, sollte jedoch nicht verändert werden ohne Erlaubnis der American Spinal Injury Association und der International Medical Society of Paraplegics

Abb. 1 Standardisierter Untersuchungsbogen

müssen auch Zeit bzw. Distanzmessungen durchgeführt werden (wieviel Zeit benötigt der Patient für eine Gehstrecke von 10 m; welche Distanz kann der Patient innerhalb von 6 min zurücklegen), die quantitativ die erreichte Gehfähigkeit beschreiben. Die kombinierte Anwendung dieser Tests ermöglicht eine aussagekräftige Beschreibung der qualitativen und quantitativen Gehfähigkeit.

**SCIM-Test.** Zur Erfassung der Selbstständigkeit für die Alltagsaktivitäten kommt bei querschnittgelähmten Patienten vorzugsweise der Spinal Cord Independence Measure (SCIM) zur Anwendung, der standardisiert erfasst, welche Alltagsfähigkeiten der Patient ganz, teilweise oder nicht selbstständig durchführen kann [21]. Auch hier kommen Summenwerte zur Anwendung, die wiederum quantitativ ausgewertet werden können.

Der Test umfasst 4 spezifische Bereiche der Selbstständigkeit – Selbständigkeit, Atmung, Kontinenz und Mobilität („self-care, respiration, sphincter management, and mobility“) – die für Querschnittgelähmte eine besondere Bedeutung haben. Er ermittelt einen maximalen Summenpunkt von 100 Punkten, wobei die verschiedenen Bereiche entsprechend ihrer Bedeutung für den Patienten unterschiedlich gewichtet sind.

## Neurophysiologische Untersuchungen

Neurophysiologische Untersuchungen [Neurographie, somatosensibel evozierte Potentiale (SSEP), motorisch evozierte Potentiale (MEP)] ermöglichen es, sowohl die absteigenden als auch aufsteigenden Rückenmarksbahnen isoliert und seitengetreunt zu untersuchen. Dabei sind sie von der Mitarbeit des Patienten nur bedingt abhängig und können so auch bei unkooperativen oder intensivmedizinisch betreuten Patienten schon im spinalen Schock abgeleitet werden.

## Aussagen zur Prognose

In mehreren Studien konnte die diagnostische und auch prognostische Wertigkeit dieser Untersuchungen nachgewiesen werden [9, 10]. Dadurch können schon früh in der Rehabilitation die realistischen Rehabilitationsziele erfasst und das Rehabilitationsprogramm entsprechend daraufhin ausgerichtet werden [8, 27, 29].

So erlaubt die kombinierte Ableitung der motorisch- und sensibel evozierten Potentiale und die Neurographie der Arm- und Beinnerven die Entwicklung der Hand- bzw. Gehfunktion vorherzusagen [7, 9, 10, 11, 25, 39]. Die motorische Neurographie in Kombination mit der sensiblen Neurographie erlaubt schon in-

nerhalb der ersten 2 Wochen nach Trauma, das Ausmaß der intramedullären Läsion der entsprechenden gemischten peripheren Nerven zu erfassen [22, 33]. Damit kann die Entwicklung einer schlaffen bzw. spastischen Lähmung rasch erkannt werden. Ebenso können begleitende periphere Nervenverletzungen und vorbestehende Nervenerkrankungen nachgewiesen werden.

## Kombinierte Verlaufsuntersuchungen

Wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, erlauben die klinischen und neurophysiologischen Untersuchungen, spezifische Aspekte im Verlauf einer Querschnittslähmung zu erfassen. Neben den neurologisch-strukturellen Verletzungen werden die funktionellen Störungen getrennt erfasst. In Kombination mit den neurophysiologischen Untersuchungen können nun funktionelle Verbesserungen oder Erholungen von strukturellen Veränderungen differenziert werden, d. h. nicht jede Funktionsverbesserung beruht auf einer Erholung der Nervenfunktion.

## Differenzierung der Erholungsmechanismen

Auch bei Patienten mit inkompletter Querschnittslähmung und deutlichen Zeichen



der funktionellen Erholung (Verbesserung der Gehfunktion) kann nicht ohne weiteres auf eine verbesserte Nervenfunktion (Nervenleitfähigkeit im Rückenmark) geschlossen werden. Die bisher durchgeführten Längsschnittuntersuchungen an Patienten mit akuter inkompletter Querschnittslähmung zeigen, dass vorwiegend Verbesserungen der funktionellen Fähigkeiten nachweisbar sind. Die neurophysiologischen Untersuchungen belegen, dass eigentliche Verbesserungen der spinalen Nervenleitfähigkeit auch bei inkompletten Läsionen nicht spontan auftreten.

Wenn aber neue Behandlungsmethoden zur Anwendung kommen, sollten die klinischen Verlaufsuntersuchungen in der Lage sein, eben zwischen diesen verschiedenen Formen der Erholung (mit oder ohne relevante Veränderung der Nervenfunktion) zu unterscheiden. Ebenso sollten die kombinierten Untersuchungen unerwünschte Nebenwirkungen differenziert beurteilen können. Als mögliche Folge könnten sowohl funktionelle als auch neuronale Verschlechterungen auftreten.

Die zeitliche Anordnung dieser Untersuchungen sollte so angelegt sein, dass Veränderungen sowohl in der Frühphase nach Querschnittslähmung (1. + 2. + 3. Monat) als auch chronische Verläufe (6. Monat und 1 Jahr) erfasst werden.

## Fazit für die Praxis

**Rückenmarkschädigungen sind gegenwärtig noch nicht heilbar. Es existieren aber vielversprechende experimentelle Therapieansätze am Tiermodell. Um die Wirksamkeit und Wertigkeit solcher Verfahren abschätzen zu können, sind für die Behandlung Querschnittgelähmter standardisierte Untersuchungsverfahren zu fordern, die bereits jetzt fest in der klinischen Routine etabliert werden müssen.**

**Diese standardisierten Verlaufsuntersuchungen sollten neuronal-strukturelle Veränderungen von funktionellen Beeinträchtigungen differenzieren. In den Verlaufsuntersuchungen sollten erreichte Erholungen bei den Patienten von wesentlichen Änderungen der spinalen Nervenleitfähigkeiten abgegrenzt werden. Die Untersuchungen lehnen sich an die Empfehlungen der ICF-Klassifikation der**

**WHO an mit getrennter Beurteilung der strukturellen Läsionen und funktionellen Einbußen, wobei die Bereiche der sozialen Integration (Partizipation) noch nicht berücksichtigt sind.**

## Korrespondierender Autor

### A. Curt

Paraplegikerzentrum, Universitätsklinik Balgrist, Forchstraße 340, CH-8008 Zürich

**Interessenkonflikt:** Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

## Literatur

1. Barbeau H, Rossignol S (1994) Enhancement of locomotor recovery following spinal cord injury. *Curr Opin Neurol* 7: 517–552
2. Botterell EH, Jousse AT, Kraus AS, Thompson MG, Wynne-Jones M, Geisler WO (1975) A model for the future care of acute spinal cord injuries. *Ann R Coll Phys Surg Can* 8: 193–218
3. Bozzacco V (1993) Long-term psychological effects of spinal cord injury. *Rehabil Nurs* 18: 82–87
4. Bregman BS, Kunkel-Bagden E, Schnell L, Dai HN, Gao D, Schwab ME (1995) Recovery from spinal cord injury mediated by antibodies to neurite growth inhibitors. *Nature* 378: 498–501
5. Burke DC, Burley HAT, Ungar GH (1985) Data of spinal cord injuries: part II, outcome of the treatment of 352 consecutive admissions. *Aust N Z J Surg* 55: 377–382
6. Chen MS, Huber AB, van der Haar ME, Frank M, Schnell L, Spillmann AA, Christ F, Schwab ME (2000) Nogo-A is a myelin-associated neurite outgrowth inhibitor and an antigen for monoclonal antibody. *Nature* 403: 434–439
7. Curt A, Dietz V (1997) Ambulatory capacity in spinal cord injury: Significance of somatosensory evoked potentials and ASIA protocols in predicting outcome. *Arch Phys Med Rehabil* 78: 39–43
8. Curt A, Dietz V (1999) Electrophysiological recordings in patients with spinal cord injury: Significance for predicting outcome. *Spinal Cord* 37: 157–165 (Review)
9. Curt A, Dietz V (1996) Neurographic assessment of intramedullary motoneuron lesions in cervical spinal cord injury: Consequences for hand function. *Spinal Cord* 34: 326–332
10. Curt A, Dietz V (1996) Traumatic cervical spinal cord injury: Relation between somatosensory evoked potentials, neurological deficit and hand function. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 48–53
11. Curt A, Keck ME, Dietz V (1998) Functional outcome following spinal cord injury: Significance of motor evoked potentials. *Arch Phys Med Rehabil* 79: 81–86
12. Dietz V, Colombo G, Jensen L, Baumgartner L (1995) Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. *Ann Neurol* 37: 574–582
13. Dietz V, Wirz M, Colombo G, Curt A (1998) Locomotor capacity and recovery of spinal cord function in paraplegic patients. A clinical and electrophysiological evaluation. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 109: 140–153

14. Dietz V (2002) Proprioception and locomotor disorders. *Nature Rev Neurosci* 3: 781–790
15. Ditunno JF Jr, Ditunno PL, Graziani V et al. (2000) Walking index for spinal cord injury (WISCI): an international multicenter validity and reliability study. *Spinal Cord* 38: 234–243
16. Edgerton VR, Roy RR (2002) Paralysis recovery in humans and model systems. *Curr Opin Neurobiol* 12: 658–667
17. Fawcett J (2002) Repair of spinal cord injuries: where are we, where are we going? *Spinal Cord* 40: 615–623
18. Gjone R, Nordlie L (1978) Incidence of traumatic paraplegia and tetraplegia in Norway: a statistical survey of the years 1974 and 1975. *Paraplegia* 16: 88–93
19. Himes BT, Goldberger ME, Tessler A (1994) Grafts of fetal central nervous system tissue rescue axotomized Clarke's nucleus neurons in adult and neonatal operates. *J Comp Neurol* 339: 117–131
20. Horner PJ, Gage FH (2000) Regenerating the damaged nervous system. *Nature* 407: 963–970
21. Itzkovich M, Tripolski M, Zeilig G, Ring H, Rosentul N, Ronen J, Gepstein R, Catz A (2002) Rasch analysis of the Catz-Itzkovich spinal cord independence measure. *Spinal Cord* 40: 396–407
22. Krasilowsky G (1980) Nerve conduction studies in patients with cervical spinal cord injuries. *Arch Phys Med Rehabil* 61: 204–208
23. Kraus JF (1980) Injury of the head and spinal cord: the epidemiological relevance of the medical literature published from 1960 to 1978. *J Neurosurg* 53: 3–10
24. Kurtzke JF (1975) Epidemiology of spinal cord injury. *Exp Neurol* 48: 163–236
25. Li C, Houlden DA, Rowed DW (1990) Somatosensory evoked potentials and neurological grades as predictors of outcome in acute spinal cord injury. *J Neurosurg* 72: 600–609
26. Maynard FM, Bracken MB, Creasy G, Ditunno JF et al. (1997) International standards for neurological and functional classification of spinal cord injury. *Spinal Cord* 35: 266–274
27. Metz G, Curt A, van de Meent H, Klusman I, Schwab M, Dietz V (2000) Validation of the weight-drop contusion model in rats: A comparative study to human spinal cord injury. *J Neurotrauma* 17: 1–17
28. Minaire P, Castanier M, Girard R, Berard E, Deidier C, Bourret L (1978) Epidemiology of spinal cord injury in the rhone-alpes region, France, 1970–1975. *Paraplegia* 16: 76–87
29. Nidecker A, Kocher M, Maeder M et al. (1991) MR-imaging of chronic spinal cord injury. Association with neurologic function. *Neurosurg Rev* 14: 169–179
30. Raineteau O, Schwab ME (2001) Plasticity of motor systems after incomplete spinal cord injury. *Nat Rev Neurosci* 2: 263–273
31. Ribotta MG, Provencher J, Feraboli-Lohnherr D, Rossignol S, Privat A, Orsal D (2000) Activation of locomotion in adult chronic spinal rats is achieved by transplantation of embryonic raphe cells reinnervating a precise lumbar level. *J Neurosci* 20: 5144–5152
32. Rodic B, Curt A, Dietz V, Schurch B (2000) Bladder neck incompetence in patients with spinal cord injury: Significance of sympathetic skin response. *J Urol* 163: 1223–1227
33. Rutz S, Dietz V, Curt A (2000) Diagnostic and prognostic value of compound motor action potential of lower limbs in acute paraplegic patients. *Spinal Cord* 38: 203–210

34. Schnell L, Schneider R, Kollbeck R, Barde YA, Schwab M (1994) Neurotrophin-3 enhances sprouting of corticospinal tract during development and after adult spinal cord lesion. *Nature* 367: 170–173
35. Schwab ME, Bartholdi D (1996) Degeneration and regeneration of axons in the lesioned spinal cord. *Physiol Rev* 76: 319–370
36. Schwab ME (2002) Repairing the injured spinal cord. *Science* 295: 1029–1031 (Review)
37. Shingu H, Ikata T, Katoh S, Akatsu T (1994) Spinal cord injuries in Japan: a nationwide epidemiological survey in 1990: *Paraplegia* 32: 3–8
38. Stokes BT, Reier PJ (1992) Fetal grafts alter chronic behavioural outcome after contusion damage to the adult rat spinal cord. *Exp Neurol* 116: 1–12
39. Taylor S, Ashby P, Verrie M (1984) Neurophysiological changes following traumatic spinal lesions in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 47: 1102–1108
40. Thallmair M, Metz GAS, Z'Graggen WJ, Raineteau O, Kartje GL, Schwab ME (1998) Neurite growth inhibitors restrict plasticity and functional recovery following corticospinal tract lesions. *Nature Neurosci* 1: 124–131
41. Thoenen H (1995) Neurotrophins and neuronal plasticity. *Science* 270: 593–598
42. Waters RL, Yakura JS, Adkins RD (1992) Gait performance after spinal cord injury. *Clin Orthop* 14: 87–96
43. Yakura J, Waters RL, Adkins RH (1990) Changes in ambulation parameters in SCI individuals following rehabilitation. *Paraplegia* 28: 364

### A. Bernau Orthopädisch-Traumatologische Röntgendiagnostik – Einstell- techniken

München, Jena: Elsevier/Urban & Fischer  
2004, 4., neu bearbeitete Auflage, 302 S.,  
600 Abb., (ISBN 3-437-23720-9), 99.00 EUR

Schon die erste Auflage vor 22 Jahren war ein Volltreffer. Der Verfasser hatte auf Anhieb sein Ziel erreicht, ein Standardwerk zu schaffen, in dem das vielschichtige Thema bewusst „einfach und zugleich detailliert“ behandelt wird. Dem Grundsatz ist er auch in der 4. Auflage treu geblieben.

Die Einstelltechniken sind dabei mehr als den Untertitel wert. Sie sind das Hauptanliegen und werden systematisch auf je einer Doppelseite 119-mal knapp und klar mit Text und zwei Bildern vorgestellt, das eine für die Einstellung, das andere für das Ergebnis. Vom Scheitel bis zur Zehe fehlt keine wesentliche Aufnahmetechnik, auch nicht so ausgefallene wie der subacromiale Raum oder die Sesambeine. Wie hat es der Verfasser als niedergelassener Orthopäde auch nur geschafft, alle diese qualitativ und didaktisch hervorragenden Bilder in seiner Praxis zu schießen?

Genau hier setzt leise Kritik an: ein Orthopäde ist kein Traumatologe, so sehr sich beide Disziplinen gerade in der Röntgendiagnostik überlappen. Mit dem Zusammenrücken der beiden Fächer hätten auch die Einstelltechniken auf der Notfallstation und mit dem Bildverstärker im Operationssaal Beachtung verdient.

Sehr begrüsst hätten die Rezensenten auch Hinweise auf die etwas andere Einstelltechnik bei Amputationsstümpfen mit ihrer Inaktivitätsosteoporose. Trotz oder eher wegen der Automatik sind solche Aufnahmen chronisch überbelichtet, die für die Beurteilung so wichtigen Weichteile rabenschwarz weggestrahlt. Das eine Röntgenbild mit dem Fuss im orthopädischen Schuh liesse sich ergänzen durch solche mit Prothese oder Orthese.

Das klare und ausführliche Inhaltsverzeichnis ersetzt nicht das obligate Sachverzeichnis am Ende eines jeden Lehrbuches. Auch nicht die schöne alphabetische Übersicht der Einstellungen. Die Amerikaner machen es uns vor, wie mehrere Wege sicher zum Ziel führen und nicht nur ein

einzig, den zu erraten es einiger Anläufe bedarf.

Der hervorragenden Qualität des Buches tun diese Bemerkungen keinen Abbruch.

Es enthält, wie alle „Kochbücher“ gleich am Anfang Kapitel, die sehr wohl Aufmerksamkeit verdienen, aber kaum gelesen werden, weil die Meinung vorherrscht, man sei darüber bestens im Bilde. Den Lieblingsadjektiven des Verfassers, wie „sorgfältig“, „optimal“ und „differenziert“ begegnen wir hier besonders häufig.

„Strahlenschutz“ ist das eine Beispiel, „Beschriftung des Röntgenbildes“ das andere. Dabei sind beide doch wichtige, indirekte Visitenkarten des Herstellers.

Wichtiger noch sind die beiden ersten Seiten, der Orientierung des Lesers gewidmet. Vor allem der Abschnitt über die Verlaufsbeobachtung. Wer den Patienten mit seiner Vorgeschichte und dem klinischen Befund persönlich kennt, ist dem Radiologen, der nur das Röntgenbild des Patienten und eine Zeile Angaben zu Gesicht bekommt, um mehr als eine Nasenlänge im Vorsprung.

Das Buch wird damit bewusst zum Politikum. Es beweist seit mehr als 20 Jahren, dass die Einstelltechnik für Standardaufnahmen des Bewegungsapparates bei den Orthopäden besser aufgehoben ist als bei den Radiologen.

Die Rezensenten können ein Lied singen aus den Tagen, da sie „par ordre de moufti“ gezwungen waren, alle ihre Patienten für die simpelste Aufnahme den Radiologen ihrer Universitätsklinik zuzuweisen. Stunden später kehrten die oft schwerstbehinderten Patienten zurück, gefolgt nach weiteren Stunden von unbrauchbaren Bildern und ebensolchem Befundbericht.

Andreas Bernau lässt es nicht bei seinem Buch bewenden. Seine praktischen Röntgeneinstellkurse in Frankfurt haben bisher an die 800 Kolleginnen und Kollegen besucht. Weit höher ist die Zahl derjenigen, welche das Werk tagtäglich zu Rate ziehen. Inhalt, Aufmachung und auch Preis sind einzigartig.

*René Baumgartner (Zumikon)  
Bernd Greitemann (Bad Rothenfelde)*